

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2007/2008

April 2008

## EBP 317/3 - Advanced Polymer Composites [Komposit Polimer Maju]

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

Please ensure that this examination paper contains ELEVEN printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEBELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

This paper contains SEVEN questions. ONE question in PART A, THREE questions in PART B and THREE questions in PART C.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. SATU soalan di BAHAGIAN A, TIGA soalan di BAHAGIAN B dan TIGA soalan di BAHAGIAN C.]

**Instructions:** Answer FIVE questions. Answer ALL questions from PART A, TWO questions from PART B and TWO questions from PART C. If a candidate answers more than five questions only the first five questions in the answer sheet will be graded.

**[Arahan:** Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A, DUA soalan dari BAHAGIAN B dan DUA soalan dari BAHAGIAN C. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.]

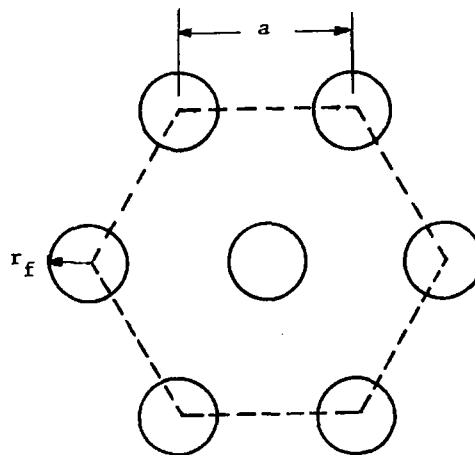
You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

**PART A****BAHAGIAN A**

1. [a] Assuming that the fibers in a unidirectional continuous fiber composite are arranged in a hexagonal packing as shown in Figure 1, show that the fiber volume fraction is given by  $3.63 (r_f/a)^2$ . Calculate the maximum volume fraction of fibers that can be packed in this fashion.

*Dengan menganggap gentian di dalam komposit gentian selanjat uni-arrah disusun secara heksagonal seperti Rajah 1, tunjukkan bahawa pecahan isipadu gentian boleh diberi sebagai  $3.63 (r_f/a)^2$ . Kirakan pecahan isipadu maksima bagi gentian yang disusun sebegini.*



**Figure 1 - Hexagonal packing**

*Rajah 1 - Susunan heksagonal*

(50 marks/markah)

- [b] Write a critical essay on the fracture behaviour of fiber reinforced composites.

*Tuliskan satu karangan kritik tentang kelakuan rekahan komposit diperkuatkan gentian.*

(50 marks/markah)

**PART B****BAHAGIAN B**

2. [a] Give definitions for the following:

- (i) Composite
- (ii) Advanced composites

*Berikan takrifan kepada yang berikut:*

- (i) *Komposit*
- (ii) *Komposit termaju*

(20 marks/markah)

[b] The following data were obtained in a resin burn-off test of an E-glass-polyester sample:

Weight of an empty crucible = 10.1528 g

Weight of crucible + sample before burn-off = 10.5219 g

Weight of crucible + sample after burn-off = 10.3221 g

Calculate the weight fraction and the volume fraction of fibers, and the density of the composite sample. Assume fiber density =  $2.54 \text{ g/cm}^3$  and matrix density =  $1.25 \text{ g/cm}^3$ . Do you expect the calculated density value to be higher or lower than the actual value?

*Data yang berikut diperolehi daripada ujian bakar habis matrik yang melibatkan sampel gentian kaca-poliester:*

*Berat bekas kosong = 10.1528 g*

*Berat bekas + sampel sebelum bakar habis = 10.5219 g*

*Berat bekas + sampel selepas bakar habis = 10.3221 g*

*Kirakan pecahan berat gentian, pecahan isipadu dan ketumpatan sampel komposit. Anggap ketumpatan gentian =  $2.54 \text{ g/cm}^3$  dan matrik =  $1.25 \text{ g/cm}^3$ . Adakah anda menjangkakan nilai ketumpatan yang dikira lebih besar atau kecil daripada nilai yang sebenar?*

(50 marks/markah)

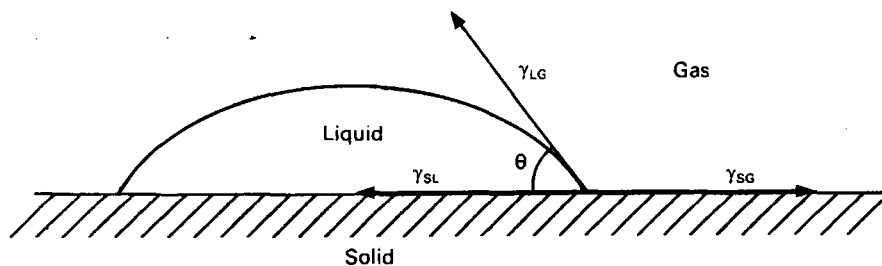
- [c] Discuss briefly why composites are being considered as substitutions for metals in many weight-critical components in aerospace and automotive industries.

*Bincangkan secara ringkas kenapa komposit dipertimbangkan sebagai gantian bagi besi untuk kebanyakan komponen kritikal-berat dalam industri aeroangkasa dan automotif.*

(30 marks/markah)

3. [a] Define **WETTABILITY**. By using the following illustration (Figure 2), explain the concept of **WETTABILITY** (consider both spreading coefficient and contact angle).

*Takrifkan **KEBOLEHBASAHAN**. Dengan menggunakan ilustrasi berikut (Rajah 2), terangkan konsep **KEBOLEHBASAHAN** (pertimbangkan kedua-dua pemalar penyerakan dan sudut pelekatan).*



**Figure 2 - A liquid in equilibrium with a solid with a contact angle  $\theta$ .  $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{LG}$ , and  $\gamma_{SG}$  are the surface energies (surface tensions) of the solid-liquid, liquid-gas and solid-gas interfaces respectively.**

*Rajah 2 - Suatu cecair pada keadaan keseimbangan dengan pepejal pada sudut sentuh  $\theta$ .  $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{LG}$ , dan  $\gamma_{SG}$  ialah tenaga permukaan (tegangan permukaan) bagi antarafasa di antara pepejal-cecair, cecair-udara dan pepejal-udara.*

(40 marks/markah)

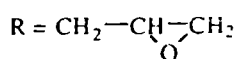
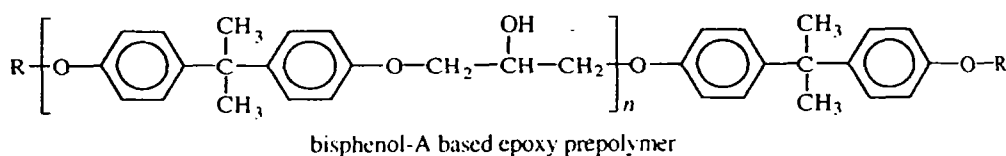
- [b] Briefly explain the production process for carbon fiber (graphite) from polyacrylonitrile (PAN) precursor.

*Terangkan secara ringkas proses penghasilan gentian karbon (grafit) daripada pemula poliakrilonitril.*

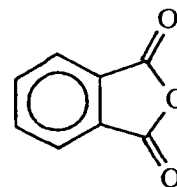
(60 marks/markah)

4. [a] Briefly describe and give the chemical reactions involved during the curing process of epoxy resins when cured using i) diamines and ii) anhydrides hardeners. Figure 3 shows the chemical structures for an epoxy resins and two types of hardeners.

*Terangkan secara ringkas dan berikan tindak-balas kimia yang terlibat semasa proses pematangan resin epoksi apabila dimatangkan dengan agen pematangan i) diamina dan ii) anhidrida. Rajah 3 menunjukkan struktur kimia bagi resin epoksi dan dua jenis agen pematangan.*



(i) Diamine  
*Diamina*



(ii) Phthalic anhydride  
*Ftalik anhidrida*

**Figure 3**

*Rajah 3*

(80 marks/markah)

[b] Derive the following equation:

*Terbitkan persamaan berikut:*

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m (1 - v_f)$$

(20 marks/markah)

**PART C**

**BAHAGIAN C**

5. [a] Quality control and assurance aspects play an important role in the production of quality composite products. Describe clearly the stages involved in the quality control and assurance of composite materials.

*Aspek kawalan dan jaminan kualiti memainkan peranan yang penting dalam pengeluaran produk komposit yang berkualiti. Terangkan dengan jelas peringkat yang terbabit dengan kawalan dan jaminan kualiti bagi bahan komposit.*

(30 marks/markah)

- [b] How do you categorise the types of defects in polymer composites. Describe briefly techniques that can be used to identify the defects in composite products.

*Bagaimanakah anda mengelaskan jenis kecacatan komposit polimer. Terangkan secara ringkas kaedah yang digunakan untuk mengenalpasti kecacatan dalam produk komposit.*

(30 marks/markah)

- [c] By giving suitable examples, describe the relationship between microstructure, processing and environmental variables with the mechanical properties of short fiber composites.

*Dengan memberikan contoh yang sesuai, terangkan hubungkait di antara mikrostruktur, pembolehubah pemprosesan dan pembolehubah persekitaran ke atas sifat mekanik komposit diperkuatkan gentian pendek.*

(40 marks/markah)

6. [a] Consider a composite produced from a combination of poly(butylene terephthalate) (PBT) and short carbon fiber using an injection molding technique. Tensile test was conducted until the composite specimen failed. Using the information given below determine:

- (i) tensile modulus of the composite
- (ii) the volume fraction of fibers for the transition from matrix controlled fracture to fiber controlled fracture
- (iii) the volume fraction of fibers for full fiber controlled fracture
- (iv) tensile strength of the composite

*Pertimbangkan komposit yang telah terhasil daripada gabungan poli(butilena tereptalat) (PBT) dan gentian karbon pendek menggunakan teknik pengacuanan suntikan. Ujian tensil telah dijalankan sehingga spesimen komposit gagal. Berdasarkan maklumat yang diberi tentukan nilai:*

- (i) *modulus tegangan komposit*
- (ii) *pecahan isipadu gentian bagi berlakunya peralihan daripada kegagalan terkawal matrik kepada kegagalan terkawal gentian*
- (iii) *pecahan isipadu gentian bagi berlakunya kegagalan terkawal gentian sepenuhnya*
- (iv) *kekuatan tegangan komposit*

(75 marks/markah)

- [b] If the sample is exposed to hygrothermal aging at 90°C, describe the changes expected to take place to the energy absorbing mechanism and mode of failure of the material. What are the necessary steps needed to improve the performance of the composite?

*Sekiranya sampel di atas didedahkan kepada penuaan higortermal pada suhu 90°C, terangkan perubahan yang dijangka akan berlaku kepada mekanisme penyerapan tenaga dan mod kegagalan bahan. Apakah langkah yang perlu diambil untuk memperbaiki prestasi komposit terbabit?*



Given:

Ratio of density of constituent materials	= 1.67
Weight fraction of PBT	= 0.7
Diameter of carbon fibers	= 6 $\mu\text{m}$
Aspect ratio of carbon fibers	= 66.7
Density of PBT	= 1.14 $\text{g/cm}^3$
Ratio of tensile modulus of constituent materials	= 85.2
Poisson's ratio of PBT	= 0.33
Poisson's ratio of carbon fibers	= 0.25
Shear modulus of PBT	= 1.02 GPa
Interfacial shear strength	= 32MPa
Fiber orientation correction factor	= 0.38
Fiber length correction factor	= 0.87
Ratio of tensile strength of constituent materials	= 45.7
Tensile strength of carbon fibers	= 3.2 GPa
Critical volume fraction of fibers in continuous fiber composites	= 0.03

Diberi:

Nisbah ketumpatan bahan jujuk	= 1.67
Pecahan berat PBT	= 0.7
Garispusat gentian karbon	= 6 $\mu\text{m}$
Nisbah aspek gentian karbon	= 66.7
Ketumpatan PBT	= 1.14 $\text{g/cm}^3$
Nisbah modulus tegangan bahan jujuk	= 85.2
Nisbah poisson PBT	= 0.33
Nisbah poisson gentian karbon	= 0.25
Modulus ricih PBT	= 1.02 GPa
Kekuatan ricih pada antaramuka	= 32MPa
Faktor keberkesanan orientasi gentian	= 0.38
Faktor keberkesanan panjang gentian	= 0.87
Nisbah kekuatan tegangan bahan jujuk	= 45.7
Kekuatan tegangan gentian karbon	= 3.2 GPa
Pecahan isipadu kritik gentian dalam komposit yang selanjur	= 0.03

(25 marks/markah)

...10/-

7. [a] A composite material consists of continuous, uniaxially aligned, carbon fibers in a matrix of epoxy was fabricated using a hand lay-up technique. A composite specimen has dimensions of  $25 \times 25 \times 3 \text{ mm}^3$  and a weight of 3.00 g was used to determine the volume fraction of fibers. After putting it in a mixture of sulphuric acid and hydrogen peroxide, the remaining carbon fibers have a mass of 1.70g.
- (i) Find the volume fraction of the voids in the composites.
  - (ii) The presence of voids is detrimental to the mechanical properties of the composites. Please give a brief explanation.
  - (iii) How can you reduce the void content in the above composites?

*Satu bahan komposit yang terdiri daripada gentian karbon yang selanjat dan terjajar dalam matrik epoksi telah difabrikasikan menggunakan teknik "hand lay-up". Satu spesimen komposit berukuran  $25 \times 25 \times 3 \text{ mm}^3$  dan berberat 3.00 g telah digunakan untuk menentukan kandungan gentian dalam komposit tersebut. Setelah dimasukkan ke dalam campuran asid sulfurik dan hidrogen peroksida, berat gentian yang tertinggal ialah 1.70 g.*

- (i) *Tentukan pecahan isipadu rongga dalam komposit tersebut.*
- (ii) *Kewujudan rongga memberikan kesan yang buruk terhadap sifat mekanik komposit. Berikan penjelasan yang ringkas.*
- (iii) *Bagaimanakah kandungan rongga dalam komposit di atas dapat anda kurangkan?*

(30 marks/markah)

[b] Using some of the data obtained from a) and those listed below:

- (i) determine the mechanical anisotropy
- (ii) calculate the amount of stresses experienced by the fiber and matrix when a stress of 50 MPa is applied to the composites in the direction parallel to the fiber axis.
- (iii) predict the tensile modulus of the composites if the carbon fibers are oriented in two (2) and three (3) dimensions.

List out all the assumptions made.

Given:

Shear modulus of epoxy = 1.15 GPa

Ratio of tensile modulus of constituent materials = 25

Poisson ratio of epoxy = 0.38

Poisson ratio of E-glass fiber = 0.22

Ratio of density of constituent materials = 1.95

Density of E-glass fiber =  $2540 \text{ kgm}^{-3}$

*Dengan menggunakan data yang diperolehi di atas serta maklumat yang diberikan di bawah tentukan nilai:*

- (i) *anisotropik mekanik*
- (ii) *tegasan dalam gentian dan tegasan dalam matrik apabila tegasan sebanyak 50 MPa dikenakan ke atas komposit dalam arah yang selari dengan jajaran gentian.*
- (iii) *modulus tegangan sistem komposit yang sama tetapi terdiri daripada gentian yang terorientasi dalam DUA dan TIGA dimensi.*

*Nyatakan segala anggapan yang dibuat.*

*Diberi:*

*Modulus ricih resin epoksi = 1.15 GPa*

*Nisbah modulus tensil bahan juzuk = 25*

*Nisbah Poisson resin epoksi = 0.38*

*Nisbah Poisson gentian kaca-E = 0.22*

*Nisbah ketumpatan bahan juzuk = 1.95*

*Ketumpatan gentian kaca =  $2540 \text{ kgm}^{-3}$*

(70 marks/markah)